

## **AÇOS LAMINADOS A FRIO DA USIMINAS PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA (1)**

MARCOS DE CASTRO PINTO (2)

JOSÉ NEVES FERNANDES(3)

ALBERTO IGNÁCIO (4)

### **RESUMO**

*São discutidos os principais aspectos envolvidos na produção de laminados a frio na USIMINAS, desde a sua implantação até o momento atual, os quais são classificados em:*

- aspecto superficial*
- aspecto dimensional*
- propriedades mecânicas*
- desenvolvimento de produtos*

*São apresentados alguns resultados obtidos com relação aos aspectos citados acima.*

---

*(1) Contribuição Técnica ao I Seminário sobre Chapas Metálicas para a Indústria Automobilística- COLAM/ABM - SAO PAULO-SP - 28 a 30 de Setembro de 1992.*

*(2) Membro da ABM - Engenheiro Metalúrgico, M.Sc., CQE/ASQC, Analista Metalúrgico da Unidade de Padronização e Coordenação do Departamento de Metalurgia e Inspeção da USIMINAS - Ipatinga- MG.*

*(3) Membro da ABM - Engenheiro Mecânico, CQE/CQA/ASQC, Chefe da Unidade de Padronização e Coordenação do Departamento de Metalurgia e Inspeção da USIMINAS - Ipatinga- MG.*

*(4) Membro da ABM - Engenheiro Mecânico, CQE/CQA/ASQC, Chefe da Unidade de Metalurgia da Laminação a Frio do Departamento de Metalurgia e Inspeção da USIMINAS - Ipatinga- MG.*

## 1. INTRODUÇÃO

Implantada em 1965, a laminação a frio da USIMINAS vem, desde então, fornecendo ao mercado produtos de qualidade, com especial enfoque para a indústria automobilística. De um laminador reversível, com capacidade de 15.000t/mês, evoluiu para equipamentos modernos, como o laminador contínuo a frio, de 5 cadeiras, e o laminador de encruamento, do tipo HC, e uma capacidade de 100.000t/mês, detendo hoje mais de 50% do mercado brasileiro de laminados a frio não revestidos para o setor automobilístico.

Do seu início de operação até o momento atual a grande preocupação da USIMINAS sempre foi estar atualizada tecnologicamente, de modo a fornecer aos clientes respostas rápidas, com a segurança de poder cumpri-las, nos prazos acordados. Para tal, além dos investimentos em equipamentos, a empresa sempre investiu no homem, treinando-o, no país ou no exterior, construindo, assim, as bases do desenvolvimento auto-sustentado.

O sistema de garantia da qualidade, que nasceu junto com a empresa através da força de trabalho e gerência japonesas que colocaram a usina em funcionamento, vem passando por aperfeiçoamento constante. Deve-se salientar, inclusive, que, já em 1979, foi obtido o primeiro certificado de qualidade assegurada, concedido pelo American Bureau of Shipping. Atualmente conta com vários certificados, destacando-se inclusive o certificado concedido pelo DET NORSKE VERITAS que reconhece o sistema de qualidade da USIMINAS em conformidade com a norma ISO 9001.

Uma característica marcante da USIMINAS, em relação aos seus clientes, é o relacionamento estreito entre o corpo técnico da USIMINAS e o dos clientes. Este relacionamento, implantado no final da década de 60 e mantido até os dias de hoje, tem sido a força motriz para o desenvolvimento da empresa.

## 2. SUPERFÍCIE

Em 1965, a USIMINAS começou a produzir aços laminados a frio. Utilizava, então, aços efervescentes, produções por lingotamento direto. Passo-a-passo a Empresa evoluiu para os aços capeados, estabilizados e, finalmente, os aços acalmados. A forma de lingotamento passou a ser a indireta, com o conseqüente ganho de qualidade em relação à superfície. Um grande salto tecnológico foi a introdução do lingotamento contínuo, em 1975, que, a par de melhorar enormemente o rendimento metálico de todos os processos (figura 1), significou um grande avanço na qualidade da superfície das chapas laminadas a frio. Os resultados obtidos são fruto do trabalho contínuo que vem sendo desenvolvido na área de aciaria, principalmente, e que consiste de:

- controle das condições de sopro (sopro combinado, com controle dinâmico, via computador, com utilização de sub-lança);

- controle das condições do aço na panela (acalmção do aço, utilizando alumínio, é calculada por modelos matemáticos adequados, permitindo reprodutibilidade de resultados);

- utilização de equipamento de análise rápida de alumínio (menos que 2 minutos). (1)

- controle das condições de lingotamento:
- . uso de válvula longa com selagem de argônio;
- . válvula submersa com selagem de argônio
- . controle automático de nível de aço no molde;
- . uso de pó fluxante adequado; etc.

As operações ao longo dos processos são padronizadas em manuais, e disponíveis nos terminais dos computadores da Empresa, ambos de fácil acesso pelos operadores.

A figura 2 mostra a evolução do rendimento de inspeção de bobinas e chapas laminadas a frio de primeira qualidade, enquanto a figura 3 mostra a distribuição, em relação ao grau de superfície, do fornecimento a uma montadora nacional.

### 3. EXATIDÃO DIMENSIONAL

A quantidade de peças produzidas, a estabilidade operacional das prensas e o casamento entre as diversas peças que vão formar a carroceria, entre outros fatores, estão diretamente relacionadas com a precisão e a exatidão dimensional das chapas. A USIMINAS, que inicialmente dispunha de laminador reversível, equipado com micrômetro volante, evoluiu em 1974, para um laminador tandem de 5 cadeiras, equipado com controlador automático de espessura (AGC), por raios - X, na saída das cadeiras números 1 e 5. Também na cadeira 1 está disponível um controlador automático de espessura do tipo BLSRA. Em 1982, este laminador foi reformado, passando a sua velocidade máxima para 1520m/min, tendo ainda sido equipado com cilindro hidráulico na cadeira 1 e com um computador de processo que realiza, entre outras funções, o cálculo das condições de laminação de cada bobina, o ajuste do laminador nestas condições calculadas, além da supervisão do AGC da cadeira 5. A figura 4 mostra um diagrama esquemático deste laminador. (2)

Em 1991, com o término da reforma do laminador de tiras a quente, o qual passou a ser controlado por computador e foi equipado com sistema de controle automático de espessura e de flexão e de deslocamento dos cilindros de trabalho, além de sistema de resfriamento da tira por cortina d'água, a USIMINAS passou a obter em seu produto laminado a frio o perfil longitudinal encontrado na figura 5.

A tabela I mostra a exigência das normas brasileira e norte-americana, bem como a garantia oferecida pela USIMINAS, em 100% do comprimento das bobinas laminadas a frio.

## 4. PROPRIEDADES MECÂNICAS

O sucesso de uma operação de estampagem depende, em uma escala importante, das propriedades mecânicas das chapas, as quais são afetadas pela composição química e pelas condições de processamento das chapas durante sua produção na usina.

Com relação à composição química, através de investimentos em equipamentos e desenvolvimento de tecnologias (sopro combinado, controle dinâmico, análise rápida de Al, estabelecimento de modelos matemáticos para cálculo de adições, dessulfuração, etc), vem-se conseguindo produzir aços com características mais uniformes (tabela II).

No campo de processamento merecem destaque a definição das espessuras do laminado a quente bem como o acerto de temperaturas durante esta operação, os quais vão influir sobremaneira na obtenção da textura adequada à estampagem. É evidente que este processamento sozinho não assegura que a textura ideal seja obtida. Ela depende ainda da condição de processamento no tiras a frio (laminação a frio, recozimento e passe de encruamento). A tabela III mostra que a USIMINAS vem conseguindo reproduzir resultados de propriedades mecânicas ao longo dos anos.

Os dados mostrados na tabela III incluem os produtos que tiveram seus corpos-de-prova recusados. A figura 6 mostra a recusa em teste mecânico, na usina, dos corpos-de-prova da qualidade NBR-5915-EEP. Cada corpo-de-prova recusado gera uma análise de ocorrência de não-conformidade onde ações são propostas visando impedir a repetição da anormalidade detectada.

## 5. NOVOS PRODUTOS

Paralelamente ao aprimoramento constante dos produtos em produção normal e vigilância na manutenção dos resultados já obtidos, a USIMINAS vem exercendo esforço significativo no desenvolvimento de novos aços, com aplicações mais específicas.

### 5.1. Novos produtos desenvolvidos

Desenvolvido em 1980 e com início de comercialização em 1982, os materiais de alta resistência e baixa liga (C - Si - Mn - Nb) foram os precursores dos materiais modernos na USIMINAS. Estes aços foram desenvolvidos para aplicações planas ou de estampagem média e foram uma resposta à necessidade de aumentar a segurança dos passageiros e de diminuir o peso da carroceria. Em resposta a uma necessidade de uma montadora nacional, a USIMINAS, em um espaço de apenas 6 meses, desenvolveu e iniciou a produção comercial de outro aço de alta resistência, o USI-STAR-400. Este material tem adição de fósforo e se destina a operações de conformação classificadas como de repuxo profundo. A tabela IV mostra as propriedades mecânicas típicas obtidas nestes materiais.

Numa outra linha de pesquisa, voltada para o aprimoramento dos veículos nacionais, no que diz respeito à durabilidade deste bem durável de consumo, a USIMINAS desenvolveu as qualidades USI-R-COR (1984) e USI-R-COR-II, (1991), as quais estão disponíveis no mercado, nos mesmos graus de estampagem especificados na NBR-5915 e com as mesmas garantias previstas naquela norma. Merecem destaque os resultados obtidos nestes materiais com relação à resistência à corrosão (tabela V). (3)

Nesta linha de pesquisa a USIMINAS é pioneira, considerando-se que a indústria siderúrgica internacional sempre se voltou para o uso de chapas revestidas, entendendo que desta maneira se poderia atingir a garantia de 5 e 10 anos, com relação a resistência à corrosão cosmética e perfurante, respectivamente. Somente recentemente as siderúrgicas japonesas voltaram seu enfoque para o metal-base, aceitando que a garantia acima somente pode ser atingida com um compromisso entre o metal-base e o revestimento (tipo/peso).

## **5.2. Novos Produtos em Desenvolvimento**

A tabela VI mostra os materiais em desenvolvimento, em escala industrial, a aplicação a que o produto se destinará e o estágio em que o desenvolvimento se encontra.

## **5.3. Perspectivas Futuras**

A USIMINAS vem trabalhando em três projetos:

### **-Aços Dual - Phase:**

Apesar de não possuir linha de recozimento contínuo, a USIMINAS desenvolveu, em escala piloto, para produção por recozimento em caixa, um material dual-phase da classe de 600 a 700 MPa de limite de resistência.

### **-Aços Ultra - Baixo Carbono de Alta Resistência:**

Utilizando a tecnologia desenvolvida com os aços ultra-baixo carbono de baixa resistência, a USIMINAS vem desenvolvendo aços de alta resistência, que deverão atender a limite de resistência na faixa de 400 a 600 MPa. Espera-se, proximamente, realizar a primeira corrida em escala industrial.

### **-Linha de Eletro galvanização:**

Uma moderna linha de galvanização eletrolítica está sendo construída visando prioritariamente ao atendimento da indústria automobilística, a qual entrará em operação no segundo semestre de 1993.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A USIMINAS sempre procurou manter com seus clientes, e conseguiu, especialmente com as montadoras nacionais, um relacionamento estreito, pois sempre entendeu que o crescimento mútuo somente é possível entre parceiros. Exemplos deste relacionamento são encontrados no dia a dia: reuniões periódicas entre os técnicos; reuniões periódicas entre a alta gerência; desenvolvimento de materiais para aplicações específicas; aprimoramento da qualidade; estudos conjuntos relacionando as chapas e os processos de pintura à resistência à corrosão de carrocerias; etc. Sempre teve uma postura de crescimento baseada numa frase de nosso ex-presidente, Dr. Amaro Lanari Júnior:

*" É a insatisfação da gerência frente aos resultados que abre caminho para a inovação e as novas tecnologias".*

A USIMINAS considera os seus clientes como se um gerente dela o fossem.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Arruda, E.C., Coutinho, C.A., Azevedo, J.C. Análise de alumínio solúvel para controle de processo de fabricação de aços acalmados ao alumínio e alumínio-silício - Metalurgia - ABM - 37 (1981) P.683/86.

2. Stelzer, G.B et alii - Automação por computador do laminador contínuo a frio da USIMINAS, - Laminação de Produtos Planos e Não Planos - ABM - VOLTA REDONDA RJ - SET/83.

3. Souza, J.G. Et alii - Desenvolvimento de aços baixa liga resistentes à corrosão atmosférica para aplicação na indústria automobilística - Contribuição ao XLV Congresso da ABM - RIO DE JANEIRO - RJ - SET/90.

4. PI8401117 - Chapa de aço carbono resistente à corrosão e com boas características de estampagem.

5. PI9104867 - Aço de excelente estampabilidade resistente à corrosão atmosférica.

**TABELA I - Exigência de Tolerância na espessura, de acordo com várias normas.**

**a) Norma Brasileira - NBR6663 - Simétrica**

Largura Espessura	750 <= L <= 800	800 < L <= 1000	1000 < L <= 1200	1200 < L <= 1500	1500 < L <= 1620
0,38 < E <= 0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	-
0,50 < E <= 0,80	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10
0,80 < E <= 1,00	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10
1,00 < E <= 1,32	0,10	0,10	0,10	0,10	0,13
1,32 < E <= 1,80	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15
1,80 < E <= 2,50	0,15	0,18	0,18	0,20	0,23
E > 2,50	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30

**b) Norma Norte Americana - ASTM A568 - Simétrica**

Espessura Largura	0,38 <= E <= 0,48	0,48 < E <= 0,99	0,99 < E <= 1,45	1,45 < E <= 1,80	1,80 < E <= 2,49	2,49 < E <= 3,00
750 <= L <= 1620	0,05	0,08	0,100	0,130	0,130	0,150

**c) Norma USIMINAS - Simétrica**

Espessura Largura	0,38 <= E <= 0,48	0,48 < E <= 0,89	0,99 < E <= 1,45	1,45 < E <= 2,49	2,49 < E <= 3,00
750 <= L <= 1620	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08

Tabela II - Composição química obtida em aços para estampagem

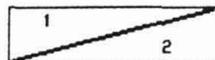
Composição Química (%) - NBR-5915-EEP					
ANO	C	Mn	P	S	Al
1989	0.05	0.23	0.015	0.014	0.049
	0.008	0.03	0.004	0.003	0.01
1990	0.05	0.23	0.015	0.014	0.049
	0.008	0.03	0.004	0.003	0.01
1991	0.05	0.23	0.015	0.014	0.044
	0.009	0.03	0.004	0.003	0.01
1992 (*)	0.05	0.23	0.015	0.014	0.045
	0.009	0.02	0.003	0.003	0.01



1 - Média  
2 - Desvio Padrão  
(\*) Até Abril

Tabela III - Propriedades mecânicas obtidos em aços para estampagem extra-profunda

Propriedades Mecânicas - NBR-5915-EEP				
ANO	LE (MPa)	LR (MPa)	AL (%) BM=50	DUREZA (HRB)
1989	184	316	40	42
	14	12	2.0	4.0
1990	183	316	41	42
	14	13	1.5	4.0
1991	181	312	41	41
	14	12	1.5	4.0
1992 (*)	185	311	41	42
	13	11	1.5	4.0



1 - Média  
2 - Desvio Padrão  
(\*) Até Abril

LE = Limite de Escoamento; LR = Limite de Resistência; AL = Alongamento

Tabela IV - Propriedades mecânicas obtidos em aços de alta resistência.

PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS					
AÇO	LE	LR	AL (%)	DUREZA	TIPO DE LIGA
	(MPa)	(MPa)	BM=50mm	HRB	
USI-STAR-450	366	475	27	76	C-Mn-Si-Nb
USI-STAR-470	376	477	26	77	C-Mn-Si-Nb
USI-STAR-400	292	427	32	63	C-P-Mn

LE = Limite de Escoamento; LR = Limite de Resistência; AL = Alongamento

Tabela V - Resultados de ensaios não-acelerados de corrosão atmosférica de corpos-de-prova fosfatizados e pintados

AÇO	ENSAIO NÃO-ACELERADO DE CORROSÃO ATMOSFÉRICA							
	ATMOSFERA INDUSTRIAL				ATMOSFERA MARINHA			
	Avanço(*) (mm)		Penetração(%) (mm)		Avanço(*) (mm)		Penetração(%) (mm)	
	1 ano	2 anos	1 ano	2 anos	1 ano	2 anos	1 ano	2 anos
Carbono Comum	2.0	5.3	0.15	0.25	17.2	27.0	> 0,80 (Fouros)	> 0,80 (Fouros)
USI-R-COR	1.0	2.5	0.06	0.11	6.1	25.0	0.55	> 0,81 (Fouros)
USI-R-COR-II	0.0	1.0	0.05	0.07	2.2	5.0	0.09	0.36

(\*) Valor médio de 20 medidas;

(\*\*) Valor máximo encontrado entre 60 medidas.

Tabela VI - Novos aços em desenvolvimento na USIMINAS

MATERIAL	APLICAÇÃO	ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO
Aço Ultra-Baixo Carbono PI 9104867	Operações de estampagem crítica	Já produzidas 800t, as quais foram aplicadas pelas montadoras nacionais. Resultados de aplicação muito bons.
Aço com características de endurecimento durante a cura da pintura.	Peças com pequenas deformações. (Por exemplo: Capô, porta, etc).	Produzidas 400t, aguardando resultados de aplicação.
Terceira geração de aços resistentes à corrosão para estampagem PI 8401117	Melhoria da durabilidade do veículo.	Produzidas 3 corridas. Material em início de testes conjuntos Usina/Montadoras.
Aço de ultra-alta resistência (LR ) 800 MPa).	Peças de segurança em veículos. Operações de dobramento.	1 corrida em produção na Usina.

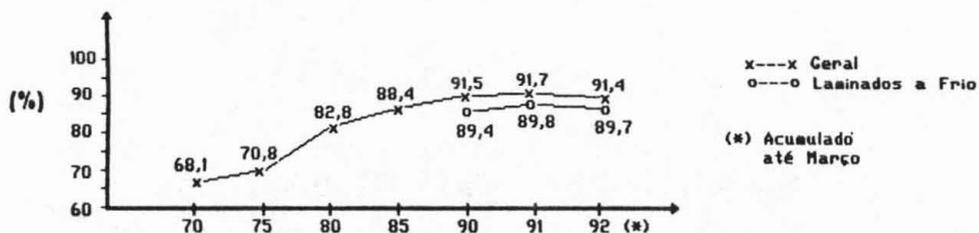


Figura 1 - Rendimento Integrado de Produtos

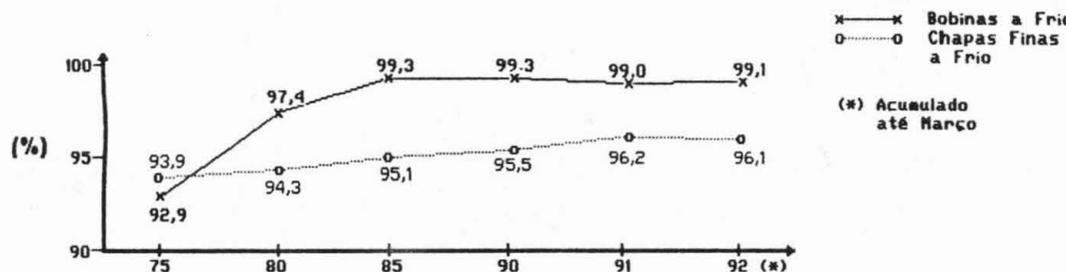


Figura 2 - Rendimento de Inspeção de Laminados a Frio - Primeira Qualidade

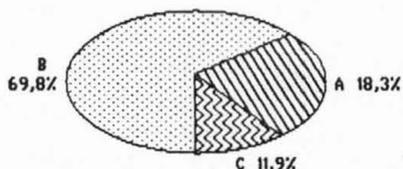


Figura 3 - Fornecimento a uma montadora nacional por grau de superfície. (NBR-6663)

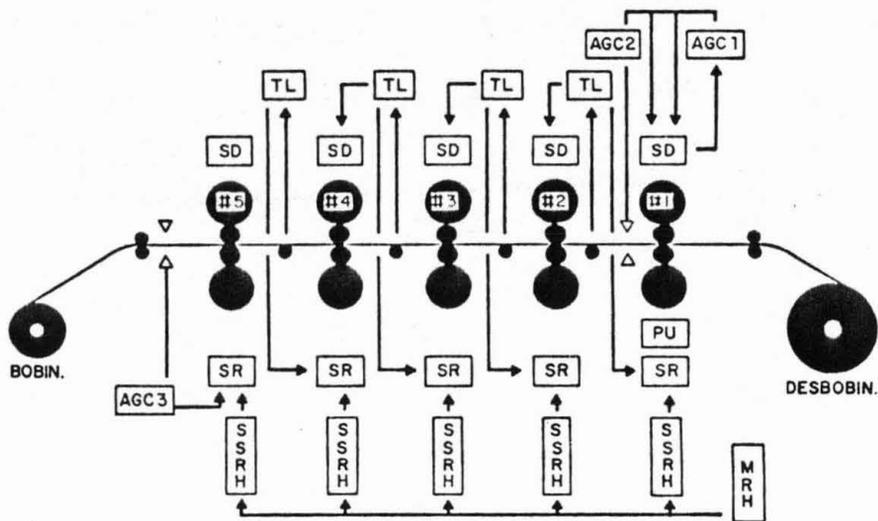


Figura 4 - Diagrama esquemático do laminador contínuo a frio de 5 cadeiras da USIMINAS.

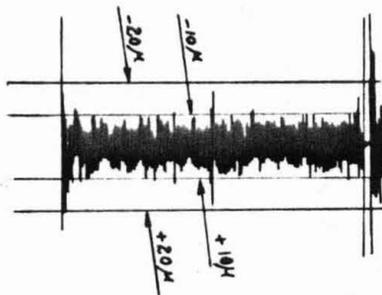


Figura 5 - Espessura de uma bobina a frio, após reforma do laminador de Tiras a Quente.

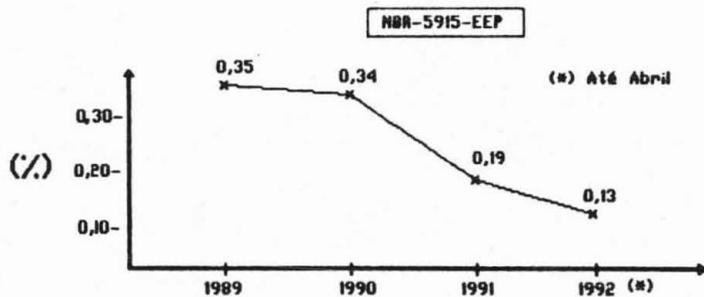


Figura 6 - Recusa em Teste Mecânico

